

Konsumtionsrate und Vertikalwanderung des Zooplanktons in einem flachen Küstengewässer

von R. Heerkloss, W. Schnese, H. Arndt und F. Fischer

Einleitung

In den Boddengewässern südlich der Halbinsel Darß-Zingst (westliche Ostsee) kann das Zooplankton zeitweise eine wesentliche Rolle im Energiefluß des Systems übernehmen. So werden im Frühjahr, während der maximalen Entfaltung der Copepoden-Populationen im Barther Bodden bis zu 50 % des primär produzierten organischen Materials vom Zooplankton konsumiert (SCHNESE und HEERKLOSS 1978). Dem Copepoden-Maximum folgt regelmäßig eine Periode mit starker Dominanz der Rotatorien. Während dieser Entwicklungsperiode der Planktongemeinschaft fand vom 22. 6.–1. 7. 1979 eine synoptische Boddenaufnahme statt („Synopta 79“). Im Abstand von 8 Stunden wurden dreimal täglich, um 8.00, 16.00 und 0.00 Uhr, Zooplanktonproben entnommen. Im Rahmen der Gesamtauswertung der Synopta sollen im folgenden Angaben zur diurnalen Variabilität der Biomasse herbivorer Zooplankter gemacht werden. Außerdem wird aus den mittleren Biomassen und Daten zur spezifischen Nahrungsaufnahme die Größe der Konsumtionsrate im Verhältnis zur planktischen Primärproduktion berechnet.

Material und Methoden

Insgesamt wurden während der 10 Untersuchungstage an 6 Stationen 180 Vollproben in 0,5 m Tiefe entnommen. Die Auszählung der mit Formalin fixierten Proben erfolgte im umgekehrten Mikroskop. Mit Hilfe mittlerer Verdrängungsvolumina der Individuen einzelner Arten und Entwicklungsstadien wurden die Abundanzen in Biomassen umgerechnet. Da zwischen den Biomassen der einzelnen Stationen große Unterschiede bestanden, wurden zur Erfassung tageszeitlicher Unterschiede relativierte Werte gebildet.

Die Berechnung der Konsumtionsraten erfolgte mit Hilfe experimenteller Ergebnisse aus vorangegangenen Untersuchungen zur Nahrungsaufnahme von Zooplankton. Das Prinzip der bei diesen Untersuchungen verwendeten Methode (vgl. SCHNESE und HEERKLOSS 1978) besteht darin, daß die Tiere am natürlichen Standort kurzzeitig mit ^{14}C -markiertem Phytoplankton gefüttert werden. Aus der Aufnahme von ^{14}C wird auf die Nahrungsaufnahmerate pro Biomasseeinheit Zooplankton geschlossen („spezifische Freßrate“ in $\mu\text{g TM} \cdot (\text{mg TM})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$). Das Produkt aus spezifischer Rate und Biomasse des Zooplanktons ergibt die Konsumtion pro Volumen- oder Flächeneinheit des Gewässers („absolute Freßrate“ in $\text{mg TM} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ oder $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). Der von der vorhandenen Nahrung täglich konsumierte Anteil ist der Quotient aus absoluter Freßrate und Sestonengehalt („Weiderate“ in $\%/d$). Die Berechnung der absoluten Freßrate wurde für zwei Größengruppen getrennt durchgeführt: große Zooplankter (Cladozieren und Adulte und Copepodit-Stadien von Calanoiden und

Harpacticoiden) und kleine Zooplankter (Rotatorien, Copepoden-Nauplien und Balaniden-Nauplien). Bei der ersten Gruppe wurde entsprechend dem Sestonengehalt der einzelnen Stationen die Abhängigkeit der Freßrate vom Nahrungsangebot berücksichtigt:

$$y = 0,231 x + 9,587, \quad r = 0,661, \quad P < 0,01 \quad (y = \text{spezifische Freßrate}, x = \text{Sestonengehalt}).$$

Bei kleinen Zooplanktern wurde ein einheitlicher Mittelwert verwendet, da eine Beziehung zum Sestonengehalt aus den nur in beschränktem Umfange vorhandenen experimentellen Daten nicht aufgestellt werden konnte. Als weitere Umrechnungsfaktoren wurden verwendet: Aschegehalt des Sestons = 20 %, Kohlenstoffgehalt der organischen Substanz = 50 %, Gewässertiefe = mittlere Tiefe der einzelnen Boddenteile.

Ergebnisse

Unterschiede in den Biomassen zwischen Tages- und Nachtproben bestanden bei Calanoiden, Harpacticoiden und Rotatorien (Tab. 1, 2 und 3). Die Copepoden waren nachts (0.00 Uhr) und die Rotatorien am Tage (8.00 und 16.00 Uhr) vermehrt in den Proben vertreten. Eine besonders ausgeprägte Rhythmik zeigten die Harpacticoiden, die in den Tagesproben nur vereinzelt vorkamen, während fast alle Nachtproben hohe Abundanzen enthielten (Abb. 1). ARLT et al. (1980) kamen mit Hilfe von Fangröhren über dem Sediment zu gleichen Ergebnissen, und geben an, daß es sich dabei fast ausschließlich um die Art *Halectinosoma curticorne* (Boeck) handelte.

Insgesamt sind diese Unterschiede zwischen den Biomassen in Tages- und Nachtproben ein deutlicher Hinweis darauf, daß die Tiere im diurnalen Rhythmus vertikal wanderten. Zwischen den beiden wichtigsten Calanoiden-Arten der Darß-Zingster Boddengewässer, *Eurytemora affinis* (Poppe) und *Acartia tonsa* Dana, gab es graduelle Unterschiede. Bei Felduntersuchungen im Juli und Oktober 1979 wurde in Zooplanktonnetzproben aus der Oberflächenschicht nachts eine Verschiebung des Verhältnisses beider Arten zugunsten von *A. tonsa* festgestellt (Tab. 4). Da während der Synopta *E. affinis* die dominierende Calaniden-Art war, belegen die Ergebnisse in Tab. 1 und 4, daß die Vertikalmigration bei *A. tonsa* zwar stärker ausgeprägt ist, bei *E. affinis* aber auch vorkommt.

Tab. 5 enthält die Angaben zur Konsumtionsrate des Zooplanktons. Mit Ausnahme der Station 19 überwog der Anteil kleiner Zooplankter an der Gesamtkonsumtion. Besonders hohe Werte ergaben sich auf den Stationen 19 und 2 mit über $500 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Die Weideraten waren erwartungsgemäß auf Grund des hohen Detritusgehaltes im Wasser gering. Relativ hoch und in der Größenordnung vergleichbar mit den Verhältnissen während des Copepoden-Maximums im Mai (vgl. SCHNESE und HEERKLOSS 1978) war die Weiderate auf Station 2.

Tabelle 1

Biomasse der calanoiden Copepoden (außer Nauplien) in 0,5 m Tiefe zu verschiedenen Tageszeiten. Absolute Biomasse in mgFMM³, relative Biomasse = prozentualer Anteil der Biomasse zu einer Zeit an der Summe der Biomassen aller drei Zeiten. In Klammern Standardabweichung. Biomasse um 0.00 Uhr signifikant höher als um 8.00 und um 16.00 Uhr ($P < 0,001$)

Station	8.00		16.00		0.00	
	absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	relativ
1	104	21,76	76	15,90	298	62,34
2	194	23,27	198	23,86	438	52,77
6	648	34,47	530	28,19	702	37,34
10	772	27,14	614	21,59	1458	51,27
16	198	18,97	88	8,43	758	72,61
19	936	7,16	1452	11,11	10684	81,73
Mittelwert		22,09 (± 9,10)		18,35 (± 7,42)		59,53 (± 15,86)

Tabelle 2

Biomasse der harpacticoiden Copepoden (weitere Angaben wie Tab. 1)

Station	8.00		16.00		0.00	
	absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	relativ
1	15	35,71	6	14,29	21	50,00
2	34	34,00	12	12,00	54	54,00
6	15	2,34	27	4,21	600	93,46
10	48	13,45	21	5,88	288	80,67
16	20	7,10	13	5,32	247	87,59
19	9	12,00	6	8,00	60	80,00
Mittelwert		17,43 (± 14,06)		8,28 (± 4,03)		74,39 (± 18,00)

Tabelle 3

Biomasse der Rotatorien. Biomasse um 0.00 Uhr signifikant niedriger als um 8.00 Uhr ($P < 0,01$) und um 16.00 Uhr ($P < 0,05$) (weitere Angaben siehe Tab. 1).

Station	8.00		16.00		0.00	
	absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	relativ
1	1119	35,74	1179	37,66	833	26,60
2	3825	37,48	3398	32,58	2982	29,22
6	1212	31,51	1563	40,63	1072	27,87
10	2538	35,55	2396	33,56	2205	30,89
16	1942	35,84	1719	31,72	1758	32,44
19	2078	35,36	1868	31,78	1931	32,86
Mittelwert		35,25 (± 1,98)		34,65 (± 3,66)		29,98 (± 2,52)

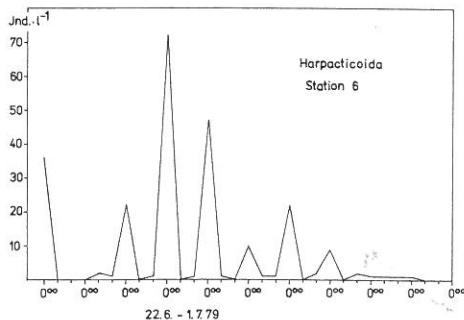


Abb. 1
Abundanz der harpacticoiden Copepoden in 0,5 m Tiefe zu verschiedenen Tageszeiten

Diskussion

Diurnale Rhythmen in der Vertikalverteilung von Zooplankton sind eine allgemein verbreitete Erscheinung. Sie werden auch in sehr flachen Gewässern beobachtet. So

stellten STICKNEY und KNOWLES (1975) in einem flachen Ästuar in Georgia (USA) fest, daß *A. tonsa* nachts zur Oberfläche wanderte. Unsere Ergebnisse bestätigen auch die Befunde von ADENIJI (1978) im Kainji-See in Nigeria, der einen Gegensatz im Wanderverhalten von Copepoden und Rotatorien beobachtete. Rotatorien gelangten am Tage und Copepoden nachts in die Nähe der Oberfläche.

Im Gegensatz zu den hier vorgestellten Ergebnissen wurden während einer synoptischen Boddenaufnahme im Jahre 1972 keine regelmäßigen Unterschiede zwischen den Copepoden-Abundanzen in Tages- und Nachtproben festgestellt. Auch zwischen Oberflächen- und Tiefenproben bestanden keine signifikanten Differenzen (SCHNESE und FISCHER 1973). Mögliche Ursachen für diese widersprüchlichen Ergebnisse könnten Unterschiede in der Dichte und Viskosität des Wassers sein. 1979 war an vergleichbaren Stationen der Salzgehalt um 1–2 ‰ geringer und die Temperatur um über 5° höher als 1972. Werden tageszeitliche Schwankungen in der Vertikalverteilung durch einen Wechsel zwischen aktiver Aufwärtsbewegung und passivem Absinken

Tabelle 4

Relativer Anteil von *Eurytemora affinis* (E) und *Acartia tonsa* (A) in Netzproben (prozentualer Anteil der Individuenzahl einer Art an der Summe der Individuenzahlen beider Arten)

Zeit der Probenahme	2.00–6.00		6.00–10.00		10.00–14.00		14.00–18.00		18.00–22.00		22.00–2.00	
	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A
a) 17.–19. 7. 80	7	93	42	58	94	6	43	57	6	94	18	82
	7	93	46	54	49	51	50	50	14	86	7	93
	18	82	26	74	50	50						
9.–10. 10. 80			89	11	82	18	92	8	85	15	66	34
					91	9	93	7			72	28

Tabelle 5

Freßrate und Weiderate des Zooplanktons

a) Calanoiden (außer Nauplien), b) Harpacticoiden (außer Nauplien), c) Cladoceren, d) Rotatorien, e) Copepoden-Nauplien, f) Balaniden-Nauplien.

Stat.	Salzgehalt (‰)	Seston-gehalt (mg TM/l)	Biomasse (mg FM/m ³)	Spezif. Freßrate (µg mg ⁻¹ h ⁻¹)	absolute Freßrate (mgC m ⁻² d ⁻¹)	Weide-rate (‰/d)
1	6,3	22	a) 160 b) 14 c) 13 d) 1043 e) 41 f) 181	14,7 49,4	8,3 196,9	1,11
2	5,6	28	a) 277 b) 30 c) 19 d) 3402 e) 17 f) 280	16,1 49,4	15,8 575,6	2,51
6	4,1	43	a) 672 b) 170 c) 29 d) 1282 e) 15 f) 21	19,5 49,4	31,8 126,9	0,71
10	2,8	56	a) 948 b) 120 c) 18 d) 2379 e) 16 f) 2	22,5 49,4	66,9 337,5	0,95
16	1,7	52	a) 367 b) 84 c) 14 d) 1732 e) 5 f) –	21,6 49,4	23,1 205,9	0,69
19	1,3	62	a) 4358 b) 25 c) 570 d) 1959 e) 276 f) –	23,9 49,4	272,8 265,0	1,36

1) Nach GEORGI et al. (1980)

der Copepoden hervorgerufen, so ist zu erwarten, daß die Schwankungen deutlicher sind, wenn die physikalischen Eigenschaften des Wassers das passive Absinken begünstigen. So beobachteten EVANS und STEWART (1977) im Michigan-See, also unter rein limnischen Bedingungen, das Vorkommen von *E. affinis* im Epibenthos. Nur in der Nacht wanderten die Tiere zum Teil in das Plankton.

Aus einem Vergleich der Freßraten mit der Primärproduktion lassen sich Rückschlüsse über die Stellung der planktischen Konsumenten im Gesamtumsatz des Systems ab-

leiten. KELL und BÖRNER (1980) bestimmten im gleichen Zeitraum die Primärproduktion mit der *in situ*-Radiokohlenstoff-Methode. Auf Station 6 wurde das Vertikalprofil erfaßt. Auf den übrigen Stationen wurde die Produktion in 0,5 m Tiefe gemessen, so daß die Produktion pro Flächeneinheit auf diesen Stationen nur grob aus den entsprechenden Relationen zur Produktion auf Station 6 geschätzt werden kann. Das Verhältnis der Gesamtfreßrate zur Primärproduktion ergab 76,3 ‰ auf St. 1, 93,7 ‰ auf

St. 2, 6,4 % auf St. 6, 18,6 % auf St. 10, 5,9 % auf St. 16 und 10,5 % auf St. 19.

In den inneren Teilen des Boddens wurde demnach nur ein geringer Teil des produzierten organischen Materials direkt oder indirekt konsumiert. Wesentlich mehr wurde durch Sedimentation aus dem Freiwasser entfernt. So bestimmten NAUSCH und NAUSCH (1980) auf Station 6 eine Sedimentationsrate von 3,62 organ. TM m⁻²d⁻¹, das sind 74,6 % der Primärproduktion. Die im Vergleich zur Primärproduktion hohen Konsumtionsraten auf den Stationen 1 und 2 müssen im Zusammenhang gesehen werden mit der Tatsache, daß die Weideraten auch in diesem Teil

Zusammenfassung

In den Darß-Zingster Boddengewässern wurden im Juni 1979 Konsumtionsraten des Zooplanktons von 159–591 mgC m⁻²d⁻¹ festgestellt. Im Verhältnis zur Primärproduktion betrug die Konsumtion 5,9–10,5 % in den inneren und 93,7–76,3 % in den äußeren Boddenteilen. In Schöpfproben aus 0,5 m Tiefe schwankte die Zooplanktonbiomasse im diurnalen Rhythmus. Während Rotatorien am Tage verstärkt auftraten, waren Calanoiden und Harpacticoiden vermehrt in den Nachtproben enthalten.

Резюме

В лиманных водах Дарсса-Цингста в июне 1979 года отмечены доли потребления зоопланктона в объёме 159–591 мгС м⁻² сутки⁻¹. Сравнительно с первичной продукцией это поглощение составляло 5,9–10,5 % во внутренних районах и 93–76,3 % во внешних частях лимана.

В взятых батометром пробах из глубины 0,5 м биомасса зоопланктона колебалась в суточном ритме. Если коло-ватки днём появлялись в большем количестве, то каланойды и гарпактикоиды содержались в большем количестве в ночных пробах.

Literatur

- ADENIJI, H. A.:
Verh. Internat. Verein. Limnol. 20: 1677–1683 (1978)
- ARLT, G., RADZIEJEWSKA, T. und RODBERTUS, L.:
Wiss. Ztschr. W.-Pieck-Univ. Rostock, 29 (1980), Math.-nat. R. in diesem Heft
- EVANS, M. S. and STEWART, J. A.:
Limnol. Oceanogr. 22 : 1053–1066 (1977)
- GEORGI, F., SPITTLER, P., SCHNESE, W. und SCHLUNGBAUM, G.:
Wiss. Ztschr. W.-Pieck-Universität Rostock 29 (1980), Math.-nat. R. in diesem Heft
- HANEY, J. F.:
Arch. Hydrobiol. 72: 87–132 (1973)
- KELL, V. und BÖRNER, R.:
Wiss. Ztschr. W.-Pieck-Universität Rostock 29 (1980). Mat.-nat. R. in diesem Heft
- NAUSCH, G. und NAUSCH, M.:
Wiss. Ztschr. W.-Pieck-Universität Rostock 29 (1980) Math.-nat. R. in diesem Heft
- SCHNESE, W. und FISCHER, F.:
Wiss. Ztschr. W.-Pieck-Universität Rostock, Mat.-nat. R. 22: 1115–1118 (1973)
- SCHNESE, W. und HEERKLOSS, R.:
Kieler Meeresforschung, Sonderheft 4, 267–274 (1978)
- STICKNEY, R. R. and KNOWLES, S. C.:
Mar. Biol. 33: 147–154 (1975)

des Boddens sehr gering waren (HANEY 1973 bestimmte in einem eutrophen See Weideraten bis zu 80 %). Die geringen Weideraten resultierten aus einem hohen Detritusanteil im Seston. Dieser Detritus wurde offenbar teilweise aus den inneren Boddenteilen durch Strömung eingetragen und stand für die Zooplankter als zusätzliche Energiequelle zur Verfügung. Insgesamt weisen diese Ergebnisse darauf hin, daß der Energiefluß zwischen Phyto- und Zooplankton nur zu einem geringen Teil über eine Weidenahrungskette führte. Sie zeigen damit den hohen Eutrophiegrad des untersuchten Gewässers an.

Summary

Zooplankton consumption rates of 159–591 mg C m⁻²d⁻¹ were found in the bodden waters south of Darss-Zingst in June 1979. Consumption amounted to 5.9–10.5 % of the primary production in the internal and 76.3–93.7 % in the outer parts of the boddens. Bottle samples from a depth of 0.5 m revealed a diurnal rhythm in the zooplankton biomass fluctuations. Although rotatorians were more prevalent during the day, the proportion of calanoids and harpacticoids in the night samples was greater.

Résumé

En juin 1979 on a constaté dans les étangs côtiers de la région Darss-Zingst des taux de consommation du zooplancton de 159–591 g de C m⁻² par jour. Par rapport à la production primaire, la consommation était de 5,9 à 10,5 % dans les zones intérieures des étangs côtiers et de 93,7 à 76,3 % dans les zones extérieures. Dans des échantillons puisés à 0,5 m de profondeur, la biomasse du zooplancton variait au rythme diurne. Tandis que les rotatories apparaissaient en quantité élevée le jour, c'était le même cas pour les calanoides et les harpacticoides dans les échantillons de nuit.

Verfasser: Dr. Reinhard Heerkloss
Prof. Dr. Werner Schnese
Dipl.-Biol. Hartmut Arndt
Friedel Fischer
Sektion Biologie der
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
DDR – 2500 Rostock
Freiligrathstr. 7/8